



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE RODA DESSECANTE EM  
PROCESSO DE SECAGEM DE BALAS DRAGEADAS VISANDO  
AUMENTO DE CAPACIDADE PRODUTIVA E REDUÇÃO DO CUSTO**

Daniel Bortoli

Lajeado, novembro de 2015

Daniel Bortoli

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE RODA DESSECANTE EM  
PROCESSO DE SECAGEM DE BALAS DRAGEADAS VISANDO  
AUMENTO DE CAPACIDADE PRODUTIVA E REDUÇÃO DO CUSTO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário UNIVATES, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Daniel N. Lehn

Lajeado, novembro de 2015

Daniel Bortoli

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE RODA DESSECANTE EM  
PROCESSO DE SECAGEM DE BALAS DRAGEADAS VISANDO  
AUMENTO DE CAPACIDADE PRODUTIVA E REDUÇÃO DO CUSTO**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Me. Daniel N. Lehn – orientador  
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Dr. Odorico Konrad  
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Ma. Manuela Gomes Cardoso  
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, novembro de 2015

## RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com ênfase nos fenômenos psicrométricos que tangem a troca de massa e energia do processo de drageamento de balas. O estudo foi desenvolvido em uma empresa do ramo alimentício do Vale do Taquari (RS), com objetivo de analisar o processo de drageamento de balas e projetar um conceito mais eficiente de secagem para o processo. O trabalho apresenta um novo conceito de preparação do ar de secagem utilizando um equipamento com roda dessecante. Desta forma busca-se melhorar o tempo de processo, qualidade dos produtos, eficiência energética da planta fabril e uma operação constante do processo, já que as variações de umidade e temperatura do ar ambiente são constantes. O referencial teórico abordou temas sobre secagem, psicrometria, rodas dessecantes e adsorção. O estudo foi baseado no atual equipamento de drageamento com sistema de desumidificação por refrigeração comparando o atual sistema com a implantação do equipamento com roda dessecante para avaliação de desempenho. Os resultados apresentados evidenciaram grande aplicabilidade do equipamento possibilitando aproximadamente 40% de redução no tempo de processo, e estes resultados estão de acordo com os objetivos propostos no tema deste trabalho, além de demonstrarem indícios positivos que podem resultar em ganhos expressivos para a empresa.

**Palavras-chave:** Balas drageadas. Roda dessecante. Ar de secagem.



## **ABSTRACT**

This work was developed with an emphasis on psychometric phenomena that concern the exchange of mass and energy drageamento process bullets. The study was developed in a food company Taquari Valley (RS), in order to analyze the drageamento process bullets and designing a more efficient concept for drying process. The paper presents a new concept of drying air preparation using equipment with a desiccant wheel. In this way we seek to improve the process of time, product quality, energy efficiency of the manufacturing plant and a steady operation of the process, since the moisture variations and ambient air temperature are constant. The theoretical framework addressed issues on drying, psychometrics, desiccant wheels and adsorption. The study was based on the current equipment drageamento-cooled dehumidification system. He compared the current system with equipment deployment with desiccant wheel for performance evaluation. The results presented showed great applicability of equipment enabling approximately 40% reduction in process time, and these results are consistent with the objectives proposed in the theme of this work, and demonstrate positive signs that can result in significant gains for the company.

**Keywords:** Drageadas bullets. Desiccant wheel. Air drying.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Processos de fabricação que exigem a etapa de drageamento .....	12
Figura 2 - Psicrômetro .....	18
Figura 3 - Carta psicrométrica .....	20
Figura 4 - Roda dessecante .....	22
Figura 5 - Entrada e saída do ar de secagem na drageadeira .....	28
Figura 6 - Balanço de massa e energia do processo .....	30
Figura 7 - Comparativo de eficiência da roda verão/inverno .....	38
Figura 8 - Diagrama psicrométrico com as médias do processo real.....	40
Figura 9 - Medições com termo higrômetro.....	41

### **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Regressão linear da umidade absoluta do sistema .....	42
---	----

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Médias do processo real .....	39
Tabela 2 - Medições com termo higrômetro .....	41
Tabela 3 - Comparativo de tempo médio entre os processos .....	44
Tabela 4 - Aumento de produtividade .....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABICAB	Associação Brasileira da Indústria de Chocolates, Cacau, Amendoim, Balas e Derivados
L	Litro
ACIL	Associação Comercial e Industrial de Lajeado
CIH	Centro de Informações Hidrometeorológicas
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
UR	Umidade Relativa

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 Definição do problema.....	11
1.2 Justificativa do trabalho .....	13
1.3 Objetivos .....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 Secagem.....	16
2.2 Psicrometria.....	17
2.2.1 Temperatura de bulbo seco.....	17
2.2.2 Temperatura de bulbo úmido .....	18
2.2.3 Umidade absoluta .....	19
2.2.4 Umidade relativa.....	20
2.2.5 Temperatura de orvalho ou ponto de orvalho .....	21
2.3 Operação e funcionamento do sistema convencional de secagem de balas .....	21
2.4 Caracterização do sistema dessecante.....	22
2.4.1 Roda dessecante .....	22
2.4.2 Adsorção.....	23
2.5 Trabalhos recentes .....	24
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
3.1 Material.....	27
3.1.1 Carta psicrométrica.....	27
3.1.2 Termo Higrômetro .....	27
3.2 Método.....	28
<b>4 ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DA RODA DESSECANTE .....</b>	<b>33</b>
4.1 Processo de drageamento.....	33
4.2 Preparação do ar de secagem do sistema atual.....	34
4.3 Roda dessecante .....	36
4.4 Condição atual de secagem .....	39
4.5 Simulação de secagem utilizando roda dessecante .....	43
4.6 Comparativo de eficiência energética .....	44

4.7 Redução de tempo de processo x aumento de produtividade.....	45
4.8 Payback do investimento .....	46
5 CONCLUSÃO .....	47
REFERÊNCIAS.....	49
APÊNDICES .....	52
APÊNDICES A - Planilha de acompanhamento de drageamento de balas .....	53
APÊNDICES B - Valores médios do processo de drageamento .....	57

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2014, a Associação Brasileira da Indústria de Chocolates, Cacau, Amendoim, Balas e Derivados (ABICAB) divulgou o balanço do ano de 2013, onde apresentou um momento de certa estagnação da produção e consumo de balas e derivados. Em 2013 foram produzidos 533 mil toneladas de produtos, 0,7% acima do produzido em 2012, já o consumo obteve índice de aumento de 1,3%.

Não obstante o cenário do mercado de balas demonstrar baixo crescimento, a empresa de alimentos envolvida no presente trabalho apresenta constante crescimento. No ano de 2014 obteve aumento de 30% no faturamento em relação ao ano anterior. Diga-se que esse resultado se deve a expansão da área de vendas e instalação de novas linhas produtivas com produtos inovadores de maior valor agregado.

O mercado de balas é extremamente competitivo, onde o foco na redução de custos e otimização de processos é de vital importância para os resultados da empresa. Brondani e Santos (2003) destacam que uma organização produtiva deve buscar constantes adaptações nas organizações para que estas possam se manter no mercado. A organização produtiva parte de uma estratégia bem fundamentada que toma por base a melhoria contínua das atividades pertinentes às operações do processo. Segundo Costa Junior (2012) a melhoria contínua procura eliminar os problemas das organizações identificando os pontos de melhoria.

Diante dessas premissas teóricas é possível aperfeiçoar os processos promovendo padronizações de pontos importantes, reduzindo custos de fabricação,

evitando desperdícios, reduzindo consumo de fontes energéticas, consequentemente melhorando a qualidade dos produtos.

Em linhas gerais, a produção de balas e derivados é composta por uma série de processos sequenciais, onde cada etapa tem seu tempo de processo e cada processo tem suas particularidades. A otimização de tempos no processo é diretamente proporcional ao custo do produto. A redução de qualquer parcela de tempo pode gerar ganhos importantes e impactar de forma positiva nos resultados. Dessa forma, o estudo de formas para reduzir os tempos de processo e otimizá-los se faz necessário, aumentando a capacidade produtiva da empresa e reduzindo custos.

### **1.1 Definição do problema**

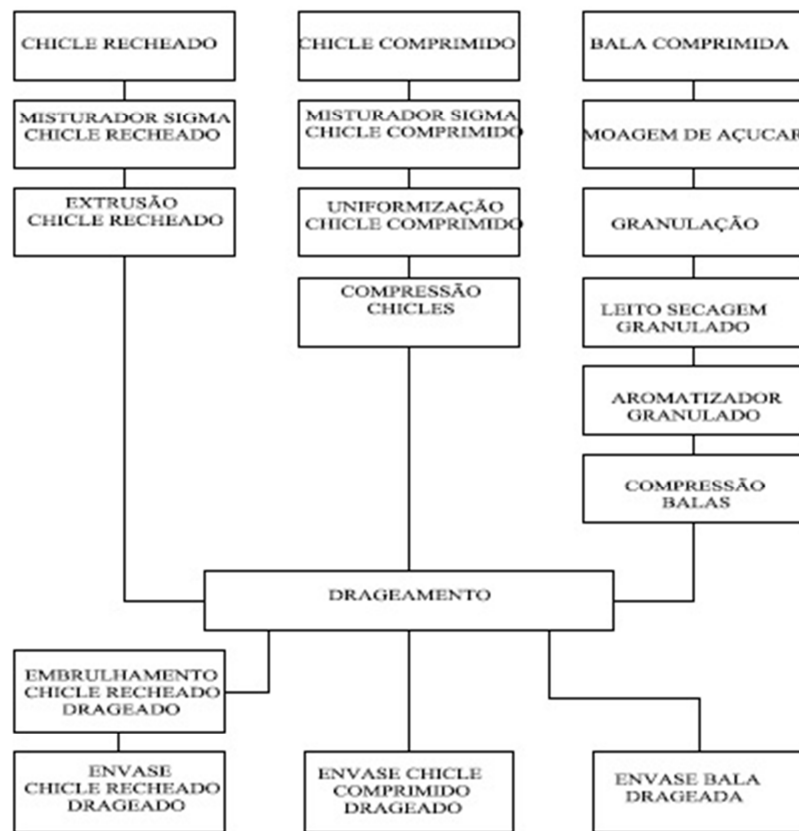
O presente estudo será realizado em uma empresa alimentícia do Vale do Taquari (RS), que processa matérias primas para fabricação de balas de goma, pastilhas, balas de gelatina, chicles de bola, refresco em pó e marshmallows. A empresa é líder na produção de pastilhas na América Latina e segunda colocada no ranking Brasileiro na produção de balas de goma, comercializando seus produtos no mercado nacional e internacional, exportando para mais de 50 países.

Em função do aumento de demanda e perspectivas favoráveis de incremento de produção de balas e chicles drageados, detectou-se a necessidade de aumentar a capacidade produtiva desses produtos.

Destaca-se que o processo produtivo do setor de drageamento pode ocorrer de três formas conforme o Fluxograma da Figura 1.



Figura 1 - Processos de fabricação que exigem a etapa de drageamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

O primeiro processo diz respeito à produção de chicles recheados, onde se agregam os ingredientes dentro de um misturador sigma, após a massa segue para uma extrusora onde é injetado o recheio e moldado o chicle. Depois disso ele segue para o drageamento que consiste em um recobrimento do produto com inúmeras camadas de calda de açúcar. Em seguida ele é embrulhado na embalagem primária e posteriormente envasado em caixas.

A segunda forma apresentada no fluxograma refere-se ao processo de fabricação de chicles comprimidos. As matérias primas são agregadas em um misturador sigma, comprimidas, uniformizadas, seguindo para o drageamento e envase.

Por fim, a terceira forma apresentada diz respeito ao processo de fabricação de balas comprimidas, onde o açúcar é moído, granulado, passando por um processo de secagem onde é aromatizado. Depois, ele segue para a etapa de compressão, de onde parte para o drageamento e envase.

De acordo com a Figura 1 verifica-se que todos os processos divergem na etapa de drageamento. Esta etapa conta com dois equipamentos de 1800 litros de capacidade comprometidos pelos três turnos (24 horas/dia) de trabalho. Com base nisso verificou-se que o principal gargalo de produção é a etapa de drageamento, e que algumas medidas deveriam ser tomadas para aumentar a capacidade de produção neste setor. Para isso foram abordadas três hipóteses:

- Comprar um novo equipamento de 1800L, gerando 50% de incremento na capacidade produtiva do setor;
- Reformar um equipamento de 750L usado, gerando 20% de incremento na capacidade produtiva do setor;
- Desenvolver um estudo de uma nova tecnologia que pudesse aumentar a eficiência dos equipamentos existentes na empresa.

Foram analisados os valores envolvidos, tempo hábil de aquisição do equipamento de 1800L e de reforma do equipamento de 750L, e necessidades futuras de capacidades produtivas. Inicialmente a empresa optou pela reforma do equipamento de 750L. Mas em paralelo a isso se iniciou um estudo para otimização da eficiência do equipamento de 750L e também dos equipamentos de 1800L.

Desse contexto, uma análise inicial indicou que uma das principais dificuldades enfrentadas pela equipe de produção era o controle da umidade do sistema de preparação de ar de secagem do equipamento. Com base nisso, optou-se pelo estudo de implantação de uma roda dessecante para preparação do ar de secagem no processo de drageamento de balas e chicles.

## **1.2 Justificativa do trabalho**

Dada à expressiva produção de balas e chicles do Vale e considerando o cenário em que a empresa está inserida, o estudo se justifica por estar relacionado às necessidades atuais e futuras da organização. Dessa forma, propor a implantação de um equipamento dessecante, com o objetivo de melhorar a preparação do ar de secagem do processo de drageamento, possibilita aumento da

capacidade produtiva, reduzindo assim o tempo de processo e de recursos energéticos necessários.

Justifica-se assim, que a escolha pela utilização de um equipamento de roda dessecante para aumentar a eficiência do sistema de preparação de ar de secagem foi fundamentada pela hipótese de que com esta preparação de ar, o rendimento do drageamento seria superior comparado à tecnologia utilizada nos equipamentos atuais, além de evitar problemas de perda de produto por deficiência do atual sistema de preparação de ar.

Destaca-se que o modelo de preparação do ar utilizado atualmente apresenta um rendimento irregular, onde sua eficiência depende das condições do ar ambiente. A empresa está situada em uma região de umidade relativa média alta. De acordo com o Centro de informações Hidrometeorológicas da Univates o CIH, as condições meteorológicas medidas em janeiro e fevereiro de 2015 tiveram média de umidade relativa de 79%. Esses altos valores prejudicam a condição do ar para secagem no drageamento, dificultando o controle das condições de operação de secagem, ocasionando aumento no tempo de processo, paradas de produção, e até perdas de produção gerando resíduos e problemas ambientais.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo geral do trabalho é melhorar o desempenho do sistema de preparação de ar de secagem no processo de drageamento de balas e chicles. Com a implantação desse equipamento busca-se melhorar o processo produtivo, aumentando sua eficiência e performance energética a fim de suprir as necessidades da empresa e proporcionar redução no custo do processo.

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar o processo de drageamento de balas e chicles;

- b) Verificar as condições de entrada e saída de ar de secagem utilizadas no processo de drageamento atual em diferentes condições de ar atmosférico externo;
- c) Verificar parâmetros do sistema de preparação de ar da drageadeira existente de 1800 litros;
- d) Simular desempenho da roda dessecante no processo de preparação do ar de secagem;
- e) Comparar resultados obtidos entre a análise do sistema atual com o estudo de implantação do sistema dessecante (tempo, condições de secagem e consumo energético).
- f) Aumentar a produtividade no setor de drageamento.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados ao processo em estudo, psicrometria, secagem e princípios do sistema de roda dessecante, objetivando uma melhor compreensão dos assuntos relacionados no trabalho.

### **2.1 Secagem**

De acordo com Blackadder e Nedderman (2004) secagem pode ser definido como o fenômeno de remoção de um líquido volátil de um sólido. Geralmente esse líquido volátil é água e o sólido possui certa porosidade como no caso da madeira ou tecido. Da Costa (2007) conceitua secagem como a operação de retirada de umidade dos materiais. Ele ressalta que a secagem é um dos processos mais utilizados na indústria, para equilibrar a umidade própria dos diversos materiais processados como, por exemplo, madeira, couro e celulose. A secagem também é utilizada para manter uma melhor conservação, como no caso de cereais, alimentos e materiais perecíveis.

O processo de remoção de umidade dos alimentos retarda a reprodução de microrganismos diminuindo a deterioração dos mesmos. Se a água for removida, a vida útil de prateleira de alguns produtos agrícolas pode ser aumentada. A remoção da água também reduz os custos de armazenagem e transporte, diminuindo peso e volume final do produto. A qualidade dos produtos alimentícios desidratados

dependem das condições de secagem, tais como temperatura, taxa de fluxo de ar e umidade relativa. Várias tecnologias são utilizadas para secagem de alimentos cada uma com suas características próprias, mas com o mesmo objetivo. O sistema dessecante é utilizado para reduzir a umidade do ar e produzir condições ótimas de secagem independente das condições do ar ambiente (ATTKAN; KUMAR; YADAV, 2014).

## **2.2 Psicrometria**

Psicrometria é o estudo das misturas de gás e vapor, e o ar é a mistura de maior importância na indústria alimentícia, pois a partir dele são realizadas diversas operações como secagem e armazenamento (PARK et al., 2007). Segundo Silva e Silva (2007), psicrometria significa medição do “frio”, que vem do grego psychros, frio. O autor explica ainda que psicrometria é a moderna ciência que estuda as misturas de vapor d’água e ar, e que a quantidade de vapor d’água que um ar carrega tem grande influência em diversos processos inclusive no conforto humano.

O ar é uma mistura mecânica de gases e vapor de água, e todo ar encontrado na atmosfera contém certa quantidade de água em sua composição. Essa concentração de água no ar é denominada umidade, ela vai se fazer presente com maior intensidade em regiões de grandes massas de água e em menor concentração em lugares áridos (DOSSAT, 2004).

### **2.2.1 Temperatura de bulbo seco**

Temperatura de bulbo seco é a temperatura termodinâmica, ou seja, a temperatura real (BLACKADDER; NEDDERMAN, 2004). Dossat (2004) define temperatura de bulbo seco como sendo a temperatura medida por um termômetro comum. Destaca-se que durante a medição o bulbo deve ser protegido para evitar efeitos produzidos por conta de irradiação.

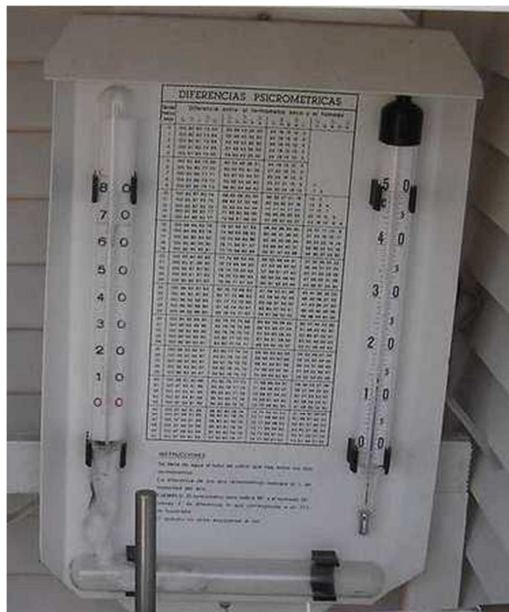
A temperatura de bulbo seco é temperatura indicada real em um termômetro comum, ela está indicada no diagrama psicrométrico como eixo das abscissas. Com

a variação da temperatura de bulbo seco a entalpia que é o conteúdo de calor total da mistura do ar e vapor pode ser utilizada para determinar a quantidade de calor adicionada ou retirada de um volume ar. Um volume ocupado por um quilograma de gás seco mais qualquer vapor associado é denominado volume específico (SILVA; SILVA, 2007).

### 2.2.2 Temperatura de bulbo úmido

Temperatura de bulbo úmido é a diferença de temperaturas quando um material úmido for exposto a uma corrente de ar, tomando assim uma condição de temperatura inferior à temperatura do ar (BLACKADDER; NEDDERMAN, 2004). Conforme Silva e Silva (2007), a temperatura de bulbo úmido pode ser explicada através da utilização do psicrômetro. O psicrômetro consiste em dois termômetros, um deles possui uma mecha de algodão umedecida em torno do bulbo de mercúrio por onde passa ar, a temperatura registrada neste momento é a temperatura de bulbo úmido, o outro termômetro faz a medição real (temperatura de bulbo seco) para comparar os extremos.

Figura 2 - Psicrômetro



Fonte: Meteobadalona (2007, imagem digital).

Segundo Dossat (2004), tem-se a temperatura de bulbo úmido, quando a temperatura for medida com um termômetro de bulbo úmido, que nada mais é que um termômetro normal encerrado com um pano ou pávio umedecido. Para ter a medida de temperatura exata o pávio deve estar saturado de água limpa na temperatura de bulbo seco, pelo pávio deve passar ar a uma velocidade entre 1000 e 2000 pés/min. Para simular essa condição de velocidade o termômetro pode ser girado com auxílio de uma corrente por um minuto, depois disso pode-se conferir a temperatura indicada pelo termômetro.

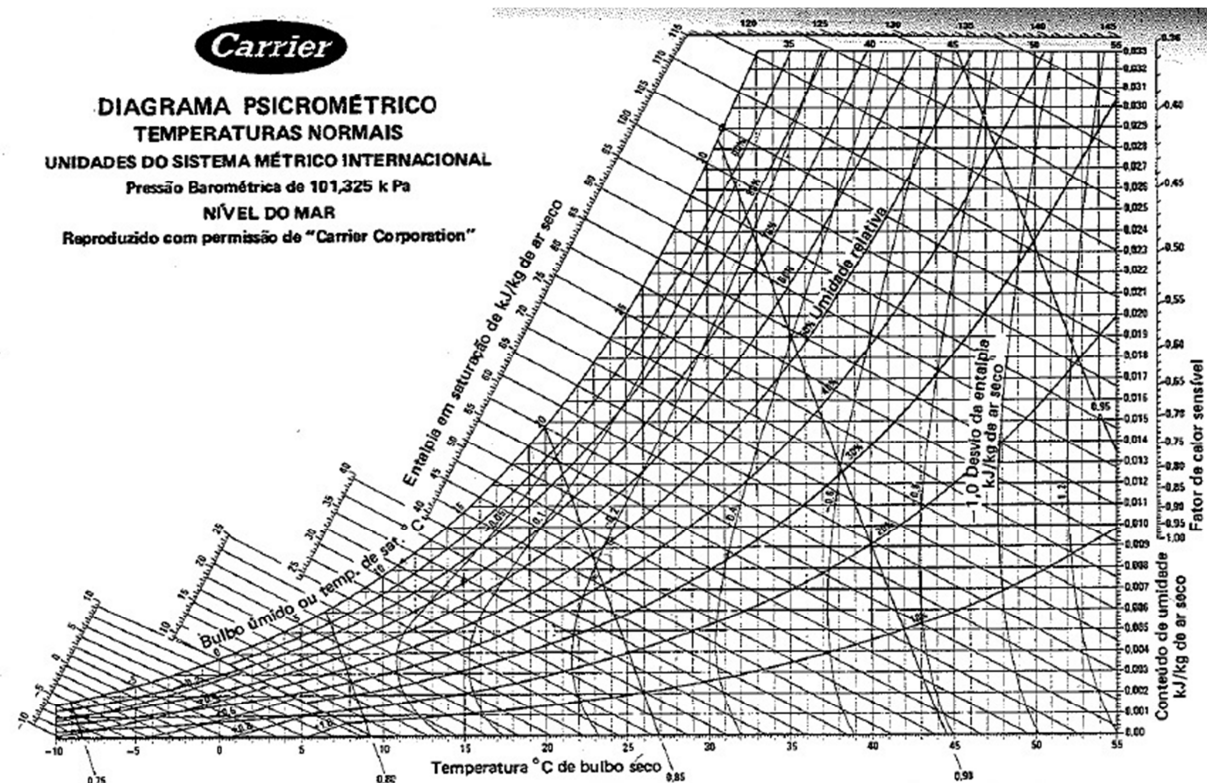
### **2.2.3 Umidade absoluta**

Segundo Blackadder e Nedderman (2004), umidade absoluta é a mistura de gás-vapor, onde a mistura é a razão em massa entre o vapor e o gás não misturados. Utiliza-se o termo vapor para substâncias condensáveis e gás para substâncias não condensáveis. A umidade absoluta é uma razão entre massas sendo seu resultado adimensional, mas geralmente é representado por quilogramas (kg) de vapor (água) por kg de gás seco (ar seco). Costa (2007), explica que a umidade absoluta do ar saturado é a massa de vapor d'água que corresponde ao ponto de saturação do mesmo por unidade de volume.

Umidade absoluta, também conhecida por umidade específica é a quantidade de vapor d'água contida em um quilograma de ar. Silva e Silva (2007) explicam que a escala vertical da direita da carta psicrométrica (FIGURA 3) marca a umidade absoluta do ar, em quilogramas de água por quilogramas de ar seco (kg/kg).



Figura 3 - Carta psicrométrica



Fonte: Dossat, (2004).

## 2.2.4 Umidade relativa

Segundo Blackadder e Nedderman (2004), a razão entre a pressão parcial do vapor e a pressão de vapor saturado na mesma temperatura de bulbo seco denomina-se umidade relativa. Costa (2007) complementa que a quantidade de vapor d'água contido em uma dada condição de volume de mistura, dividido pela quantidade de vapor d'água que esse volume de mistura teria se estivesse saturado toma o nome de umidade relativa.

Outra definição é fornecida por Silva e Silva (2007) onde umidade relativa é a relação de umidade contida em uma massa de ar e a máxima quantidade de umidade que esse ar pode conter a uma dada temperatura.

### **2.2.5 Temperatura de orvalho ou ponto de orvalho**

Blackadder e Nedderman (2004) comentam que quando uma mistura de gás-vapor é resfriada, haverá condensação, a temperatura na qual o vapor contido em uma atmosfera se torna líquido, desprezando efeitos de supersaturação é denominado ponto de orvalho.

Segundo Dossat (2004), quando o ar atinge a temperatura de saturação correspondente a pressão parcial do vapor d'água, o vapor d'água é saturado, essa temperatura de saturação é chamada de ponto de orvalho. Definição similar é obtida por Silva e Silva (2007), onde ponto de orvalho é a temperatura na qual a umidade relativa chega a 100%. Se a temperatura baixar além da temperatura de orvalho uma quantidade de água vai condensar, e isso significa que a massa de ar-vapor inicial vai perder vapor (água), modificando assim sua estrutura psicrométrica.

### **2.3 Operação e funcionamento do sistema convencional de secagem de balas**

O sistema convencional para preparação do ar de secagem utilizado atualmente pela empresa é do tipo expansão indireta. De acordo com Silva e Silva (2007) esse processo pode ser descrito como um sistema evaporativo que absorve calor do ambiente de forma indireta através de um fluido secundário (frio). Esse tipo de sistema retrata a realidade atual de preparação do ar de secagem do processo de drageamento, onde um ventilador centrifugo succiona o ar pelo sistema de trocadores de calor (frio), que é responsável pela troca de temperatura e remoção de água do fluido do processo (ar de secagem), isso ocorre pelo fato do fluido de processo atingir seu ponto de orvalho e condensar.

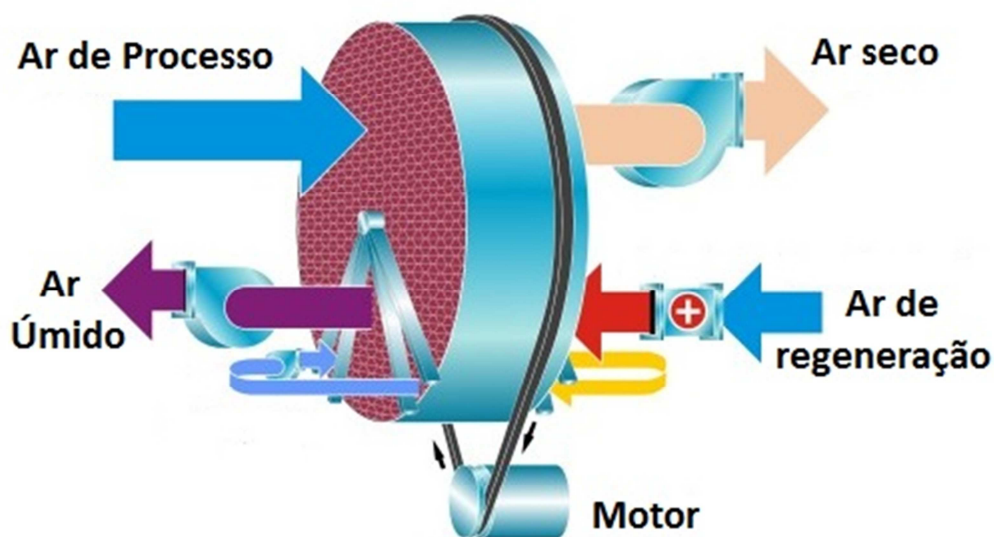
Grande parte dos evaporadores que são utilizados na refrigeração industrial, resfriam ar. A maioria dos sistemas de resfriamento de ar envolve a remoção de umidade por condensação da água contida no ar, quando o ar passa pelo trocador de calor (evaporador) sendo resfriado, sua temperatura cai e o ponto de orvalho é atingido, com isso a água da mistura condensa diminuindo a relação gás-vapor d'água da mistura (STOECKER; JABARDO, 2002).

## 2.4 Caracterização do sistema dessecante

### 2.4.1 Roda dessecante

Segundo Zhang e Niu (2002), rodas dessecantes têm sido amplamente utilizadas para tratamento da umidade do ar e recuperação de entalpia. No primeiro caso, o ar de processo é seco após fluir através da roda, que gira continuamente entre o ar de processo e uma corrente de ar quente regenerativa. O ar seco pode ser usado diretamente, ou pode ser empregado para fazer o arrefecimento de outros processos psicrométricos. A Figura 4 mostra uma roda dessecante.

Figura 4 - Roda dessecante



Fonte: Munters (2015, imagem digital).

A roda dessecante também é conhecida como roda de desumidificação ou desumidificador rotativo. Os principais componentes são: roda com material dessecante (matriz), motor e aquecedor de ar para reativação, motor de circulação do ar de processo e carcaça do equipamento. Uma correia e um moto-reductor promovem o giro da roda a uma determinada rotação. A carcaça do equipamento divide a roda em canais através de uma seção, separando a passagem de ar de processo e a passagem do ar de regeneração. O vapor de água é adsorvido pelo dessecante quando o ar úmido está passando pelo processo. Enquanto o ar aquecido pelo aquecedor flui através do lado de regeneração arrastando o ar

carregado de vapor d'água para fora do equipamento. O fluxo de ar pode ser contra corrente ou concorrente dependendo do arranjo. Quando não se tem a regeneração ativada por aquecedor o equipamento é chamado de roda dessecante passiva, roda de entalpia ou roda de energia rotativa (GE et al., 2007).

Conforme Attkan, Kumar e Yadav (2014), desumidificador dessecante é um equipamento que remove a umidade do ar, mas sem fazer o arrefecimento do ar abaixo do seu ponto de orvalho. A corrente de ar passa pelo material dessecante e o vapor d'água contido na massa de ar é adsorvido pelo material dessecante. Ao passo que a adsorção do vapor d'água acontece, o material dessecante satura-se e é necessária a regeneração do mesmo. Os fluxos de processos e regeneração acontecem simultaneamente através de uma roda que gira. O ar de regeneração vem da mesma fonte que o ar de processo, sendo aquecido para reduzir a sua umidade relativa. O ar de processo deixa o desumidificador em uma condição mais seca e mais quente do que entrou. A principal diferença de desumidificadores dessecantes e desumidificadores baseados em princípios de refrigeração é que em vez do ar do processo sofrer uma brusca queda de temperatura para forçar a condensação do vapor d'água, os dessecantes absorvem a umidade do ar pelo processo adsortivo.

#### **2.4.2 Adsorção**

A adsorção é um importante processo para a desumidificação do ar atmosférico. Os adsorventes mais importantes usados são a sílica gel e a alumina ativada. A capacidade de um sólido adsorver vapor d'água de um fluido depende das características físicas, da composição do fluido, temperatura e pressão do processo e tempo de contato. O dessecante retém o vapor d'água do fluido, no momento que ele passa pelo dessecante até sua saturação. É preciso que o adsorvente seja reativado por meio de um leito rotativo, com uma corrente de ar aquecido a cerca de 130 °C (COSTA, 1982).

Conforme Santos (2005), adsorção é o fenômeno onde moléculas de um fluido concentram-se espontaneamente sobre uma superfície sólida. Os adsorventes ou dessecantes mais utilizados são: dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$  – sílica gel), cloreto de

lítio (LiCl) e alumínia ativada (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Essas substâncias são depositadas em um substrato de fibra de vidro, celulose ou alumínio. Para a reativação do dessecante pode ser utilizada energia calorífica por eletricidade (resistores elétricos), vapor d'água, ar quente ou outra fonte de calor.

Segundo Leal (2009), a roda dessecante contém um único produto, o agente dessecante, que pode estar no estado sólido ou líquido. O dessecante sólido, atualmente é a solução utilizada pelos fabricantes desta tecnologia. Neste caso a roda dessecante que é uma espécie de colmeia, (material poroso), é impregnada pela aplicação do agente dessecante ou adsorativo que faz a remoção da umidade. Quando o agente dessecante é líquido ele é injetado em forma de spray na área onde o ar será tratado para remover umidade. A solução concentrada é circulada e aquecida por um fluxo de ar quente, obtendo-se assim uma reconcentração do líquido dessecante. Os agentes dessecantes são materiais inorgânicos e higroscópicos, ou seja, que retêm a umidade. Sendo os mais utilizados: sílica gel, brometo de lítio, cloreto de lítio, brometo de cálcio, peneiras moleculares e silicato de titânio. Existem outras possibilidades, como polímeros orgânicos que ainda estão sendo estudados para uma possível utilização. A sílica gel e cloreto de lítio são compostos que têm uma grande capacidade de adsorção de vapor d'água presente no ar exterior, quando comparados aos outros dessecantes. Já os agentes dessecantes líquidos têm um maior grau de desumidificação se comparados aos sólidos. Entre eles há o glicol, brometo de lítio e soluções de cloreto de cálcio em água. No entanto estes agentes dessecantes requerem uma maior manutenção quando comparados com os no estado sólido.

## **2.5 Trabalhos recentes**

Mandegari e Pahlavanzadeh (2009) comparam em seu estudo um processo comum de ar condicionado, utilizando o método de condensação do vapor d'água do ar submetendo o mesmo a passar por um trocador, forçando-o a atingir seu ponto de orvalho, com o modelo de roda dessecante trabalhando com a adsorção do vapor d'água. O estudo experimental analisou diversas situações de temperatura e umidade incluindo as extremas (úmido, seco, quente e frio). Os experimentos da

pesquisa evidenciaram um rendimento superior do sistema de roda dessecante, destacando a importância do processo de regeneração para o ciclo dessecante, onde se estabelece uma proporção direta de quanto mais eficiente à regeneração do adsorvente, mais eficiente é o sistema dessecante. Esse caso pode ser comparado ao presente estudo onde o sistema atual de drageamento utiliza o processo de trocador de calor frio para forçar condensação do ar e depois um trocador quente para equalizar a temperatura de processo e ajustar a umidade relativa do ar de secagem.

Madhiyanon et al. (2006) utilizaram um sistema dessecante para análise de eficiência na secagem de pedaços de coco. A pesquisa comparou o método de secagem utilizando somente ar quente, uma mistura de ar quente e ar proveniente do processo de tratamento do ar utilizando roda dessecante. Foram analisadas cor, sabor e qualidade do produto, e de acordo com o trabalho, as condições do ar de secagem podem influenciar diretamente sobre as características referidas. Os resultados mostraram que o processo utilizando a mistura de ar quente e ar desumidificado apresentou uma eficiência 25% maior, pelo fato da sílica gel (adsorvente utilizado) retirar o vapor d'água do ar de secagem. Porém o gasto energético utilizado foi maior devido ao processo de regeneração que necessita de calor para reativar a sílica gel.

Já Antonellis, Joppolo e Molinaroli (2010) demonstraram através de simulações como a utilização de roda dessecante pode ser útil para a eficiência energética de um processo utilizando fontes renováveis. Os autores salientam que a energia de regeneração pode ser fornecida a partir de baixa entalpia como, por exemplo, de coletores solares, rejeito de calor de descargas de motores térmicos ou ainda de processos industriais como redes de vapor e retorno de condensado. Também podem reduzir a potência de máquinas de refrigeração em unidades de tratamento de ar uma vez que a roda dessecante retira o vapor d'água do ar. Outra vantagem é a redução da presença de microorganismos como bactérias e fungos visto que a umidade é ausente.

Giametta et al. (2012) aplicaram um sistema de roda dessecante utilizando sílica gel como adsorvente, para controlar o ambiente de uma sala para cura de secagem de queijo tipo scamorza. O objetivo foi controlar a temperatura e umidade

da sala para melhorar as condições de secagem do queijo através de um ambiente controlado, para potencializar a troca global de massa do queijo úmido com ar que estava em constante renovação através do sistema dessecante. Foram atingidos os melhores resultados no lote testado com 44 horas de processo. Nessa pesquisa, as principais características positivas foram na intensidade da coloração amarela, fator que influencia diretamente na decisão de compra do consumidor e sabor do produto.

Attkan, Kumar e Yadav (2014) utilizaram processo de secagem com roda dessecante para secar vegetais como espinafre, folhas de feno-grego, folhas de mostarda, hortelã, e coentro, com o objetivo reduzir e otimizar o tempo de secagem, prolongar a vida útil, visto que a umidade causa a deterioração destes produtos. Destaca-se que a remoção da umidade dos alimentos retarda muitas reações que deterioram os alimentos e a reprodução de microorganismos na atmosfera que os envolve. Assim, removendo-se a água do produto, pode-se aumentar seu tempo de prateleira, reduzir volumes e gastos com armazenagem, transporte e embalagem. O trabalho cita que o método mais comum de secagem utilizado no caso de vegetais é a exposição ao sol, mas ele tem interferência direta na coloração e qualidade do produto final, além de não ser um método higiênico. O estudo mostra a vantagem em utilizar o sistema dessecante para tratamento do ar de secagem onde o feno-grego (material analisado) foi colocado em um leito e exposto a uma corrente de ar tratado ocorrendo assim troca de massa entre o material e o ar. No comparativo de resultados o sistema dessecante foi mais eficiente conservando a coloração e qualidade do feno-grego, e ainda podendo ser feito em qualquer momento do dia, pois não depende do sol. O sistema dessecante trabalha em qualquer situação independente das condições externas do ar, através de sistema de modulação do equipamento ele sempre entrega o ar tratado nas mesmas condições para o processo.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho, pretendendo-se abordar os principais assuntos que compõem o estudo, com ênfase no processo de secagem de balas comparando o sistema atualmente utilizado com o equipamento dessecante proposto, visando obter melhores resultados.

#### **3.1 Material**

##### **3.1.1 Carta psicrométrica**

Um dos principais materiais de estudo é a carta psicrométrica. Através dela foi possível determinar as variáveis necessárias para o trabalho. Ela é uma importante ferramenta para analisar o comportamento das condições atmosféricas e entender a relação gás-vapor.

##### **3.1.2 Termo Higrômetro**

O Termo Higrômetro é uma ferramenta que serve para medir temperatura e umidade. No presente trabalho foi utilizado um Termo Higrômetro da marca Testo modelo 625.



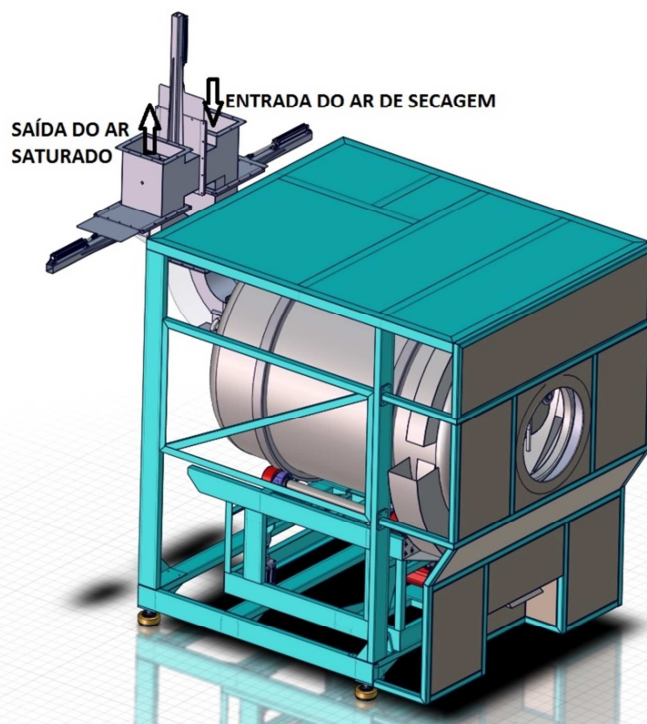
### 3.2 Método

O método aplicado no presente estudo será o comparativo, que segundo Roesch (2013), permite através da descrição paralela de cada caso estudado comparar as diferenças entre eles, demonstrando de forma clara os resultados obtidos na pesquisa.

Através do método comparativo o estudo terá como objetivo verificar as condições do processo de secagem de balas drageadas com base no estudo de fenômenos psicrométricos que influem nos parâmetros de comportamento da mistura ar seco-vapor d'água (ar de secagem). Com isso o estudo propõe a comparação do atual sistema de preparação de ar e o novo sistema que inclui o equipamento dessecante.

Para análise comparativa foram definidos alguns pontos para coleta de dados amostrais, como pode ser visto na Figura 5, onde na entrada do ar de secagem a própria drageadeira possui sensores de temperatura (TBS) e umidade relativa. Para a medição do ponto de saída do ar foi utilizado um Termo higrômetro.

Figura 5 - Entrada e saída do ar de secagem na drageadeira



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

As medições preliminares consideraram valores de temperatura em graus célsius (°C) e umidade relativa do ar em percentagem (%). Esses dados são suficientes para se obter todas as outras variáveis da condição de ar em um diagrama psicrométrico.

Através das medições feitas no equipamento existente, obteve-se informações da atual condição de trabalho, estabelecendo a base para a comparação com as informações do estudo do equipamento dessecante obtidas com a Munters.

Em cada ponto foram feitas varias coletas das medições de temperatura do ar e sua umidade relativa. Através destas medições, pode-se avaliar a média e o coeficiente de variação das amostras. Desta forma, tem-se a garantia de confiabilidade dos resultados visto que as medições de temperatura e umidade são importantes para realizar as conclusões do trabalho indicando se houve ou não melhoria no processo. As medições para o levantamento de dados do processo foram realizadas ao longo dos meses de agosto e setembro para evidenciar a diferença nas condições do ar de secagem que são influenciadas pelo ar externo do ambiente. Diferente do que acontece com o equipamento dessecante onde uma de suas maiores vantagens é a condição de entregar o ar de secagem para o processo sempre na mesma condição, independente das condições do ar atmosférico externo que nunca são iguais. Somente o fato de o processo receber sempre o ar nas mesmas condições, já é valido, visto que isso otimizaria a operação de secagem, padronizando a operação.

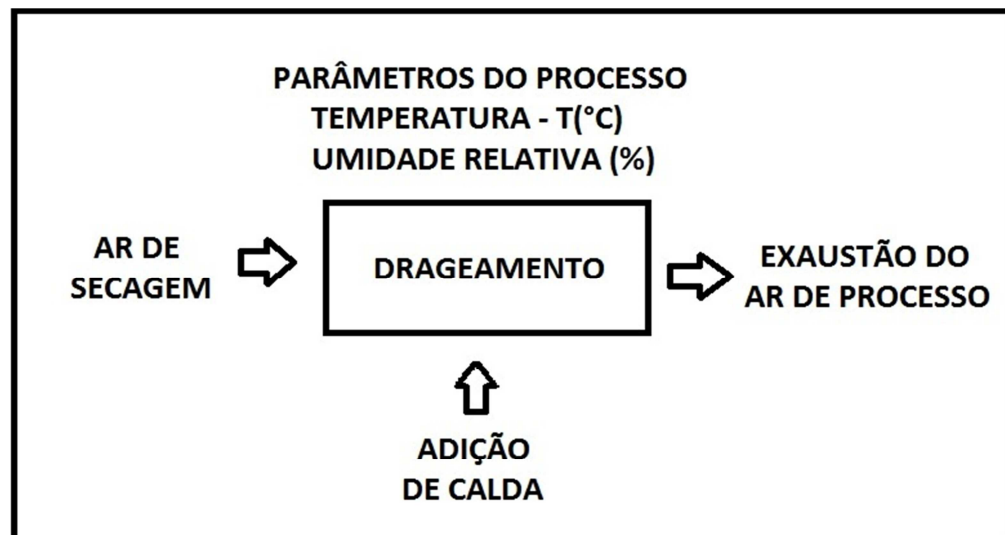
Pretende-se, com a implantação do sistema dessecante, entregar o ar preparado para o processo com uma umidade absoluta de 2g de H<sub>2</sub>O/kg de ar seco independente da temperatura de processo que varia de acordo com o produto que é produzido. O sistema atual depende das condições do ar atmosférico externo, e tem sua eficiência prejudicada em virtude da variabilidade das condições atmosféricas (mudanças climáticas). Em dias de umidade do ar muito alta, o processo é prejudicado e perde eficiência (maior tempo de secagem). O processo de drageamento de um mesmo produto em condições extremas do ar ambiente externo pode variar com uma produtividade de 100 a 300 kg/h para um equipamento de 1800 litros. Quanto mais constantes as condições do ar de secagem ao longo do

processo, assegura-se uma maior qualidade ao produto (padronização), permitindo assim uma programação de produção mais precisa, diminuindo o risco de perda de material por condições inadequadas do ar de secagem.

Com os dados de temperatura e umidade medidos, será possível realizar um balanço global de massa e energia, identificando as correntes envolvidas no processo (ar atmosférico, ar tratado, ar de secagem e ar de saída da secagem, e correntes de materiais: bala e calda).

Através do balanço de massa e energia do sistema, poder-se-á determinar o ganho ou não de eficiência energética do processo de secagem, conforme observado na Figura 6. Nesse aspecto o ar de secagem entra com temperatura ideal para garantir a qualidade do produto e umidade baixa para melhor eficiência de secagem; em paralelo, é feita a adição de calda com concentração de sólidos (°Brix) em torno de 74% com temperatura aproximada de 90°C e exaustão do ar do processo onde a temperatura e umidade que saem são resultantes da combinação do ar de secagem e adição de calda.

Figura 6 - Balanço de massa e energia do processo



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Destaca-se também que o presente trabalho analisou as condições de temperatura, umidade e outros parâmetros do processo do ponto de vista produtivo (tempo de processo e qualidade do produto), em comparação com a estimativa de melhoria das condições de ar pela roda dessecante (simulação). Comparou-se a

eficiência do processo atual com o processo que inclui a roda como etapa de preparação do ar. Para o comparativo energético foram avaliados e comparados os recursos energéticos envolvidos no processo como potência dos trocadores de calor e energia elétrica (movimentação do ar) utilizada em cada caso.

Para os comparativos foram feitos testes das condições psicrométricas do ar, nos pontos indicados na Figura 5, analisando a umidade absoluta do ar, para expor a real quantidade de água por quilograma de ar seco no processo atual, comparado com o processo utilizando roda dessecante.

Outro ponto importante a ser medido e comparado é o tempo de processo, sendo o ciclo de drageamento composto por: injeção de calda sobre o produto, uniformização da calda sobre o produto e secagem. Nas duas primeiras etapas não é possível reduzir tempo de processo. O tempo de injeção determina a quantidade de calda a ser aplicada por camada de drageado, existindo uma medida certa para cada camada. O tempo de uniformização é a parte mais crítica do ciclo, onde a calda irá envolver o produto. Caso isso não ocorra de maneira uniforme e coesa, podem ocorrer defeitos no produto como trincas, poros e gotas.

Visto isso, a etapa do ciclo de drageamento a ser melhorada em função do tempo é a secagem, e o estudo do sistema de roda dessecante pode trazer uma redução deste tempo.

Para fins de análise do estudo de implantação do equipamento dessecante no processo de drageamento foram coletadas informações pertinentes ao processo atual. Com essas informações foi possível fazer os cálculos e comparativos do atual sistema de secagem com um processo que inclui o equipamento dessecante. Foram coletados os seguintes dados:

- Temperatura do ar de secagem;
- Umidade relativa do ar de secagem;
- Tempo de processo da batelada completa;
- °Brix da calda;

- Vazões de ar e calda;
- Condições do ar externo ao processo (temperatura e umidade).

Como parâmetro de análise, para a coleta de dados, foi escolhido o processo de drageamento de balas visto que se trata do produto de maior demanda e maior tempo de processo. Os dados de temperatura e umidade foram medidos pela própria drageadeira, uma vez que essa possui sensores de temperatura (TBS) e umidade relativa (%) no duto de entrada do ar de secagem.

Observa-se que essas informações foram anotadas pelo operador da drageadeira durante todo processo, a cada 10 ciclos de drageamento, como pode ser visto no Apêndice A. O °brix da calda, peso inicial e final da batelada também foram anotados para confirmar os padrões estabelecidos pelo setor de qualidade da empresa. Para manter o controle das informações analisadas somente dados de bateladas completas foram utilizadas no trabalho.

Portanto, as informações a serem analisadas pelo presente trabalho terão a função de comparar o sistema atual de secagem com a simulação do sistema utilizando roda dessecante, estimando a mudança na produtividade e a possível otimização da etapa de secagem. A redução e padronização do tempo de fabricação influenciam diretamente na produtividade e nos custos do processo.

## **4 ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DA RODA DESSECANTE**

Neste capítulo será abordado o desempenho do atual sistema de preparação de ar para a secagem do drageado. Para tal análise foram feitas diversas medições no processo. Estas medições são necessárias para o comparativo do atual sistema de preparação de ar com a implantação da roda dessecante. Os assuntos abordados neste capítulo vão ao encontro dos objetivos propostos no início do trabalho e também seguem a metodologia descrita no capítulo 3.

### **4.1 Processo de drageamento**

O processo de drageamento se inicia com o abastecimento do núcleo da bala ou chicle na drageadeira. Sendo esses resultantes dos processos de compressão (bala e chicle comprimido) ou de processo de extrusão (chicle extrusado). Paralelo a isso, ocorre à preparação da calda que posteriormente será adicionada junto ao processo, formando assim as camadas de drageado sobre a bala ou chicle.

Quando o produto se encontra abastecido na drageadeira e a calda apresentar o teor adequado de sólidos ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) o processo pode ser iniciado. Na drageadeira os produtos giram dentro de um tambor rotativo, sendo que o mais importante nesse processo é que o produto tombe dentro do equipamento. A partir disso, a calda é aplicada sobre o produto por um tempo determinado. Nesse aspecto, observa-se que, a quantidade de calda aplicada é regulada pelo tempo de injeção, que é feita através de bicos injetores dentro da drageadeira.

Realizada a operação, o produto envolvido de calda entra em processo de padronização, que consiste na homogeneização da calda sobre o produto durante o tombamento do mesmo. Ressalta-se que isso é importante para garantir que todas as unidades de balas recebam a mesma quantidade de calda. A padronização no processo de dragagem é a etapa mais crítica do ciclo. É ela que determina a homogeneidade da quantidade de calda distribuída sobre a bala. A má distribuição da calda sobre a bala pode significar acúmulo de calda sobre o produto, formando gotas ou fazendo que as balas grudem uma nas outras. Pouca calda significa uma camada muito fina de drageado, podendo ocorrer trincas no produto final.

Com as etapas de aplicação de calda e padronização sendo feitas adequadamente, a secagem entra no processo para fechar o ciclo. Após cessar o tempo de padronização, o ar de secagem entra no equipamento secando a atmosfera úmida do ambiente interno do equipamento. A etapa de secagem é a parte do processo que pode ser otimizada para fins de ganho de eficiência e qualidade do produto.

Uma secagem eficiente com temperatura e umidade constantes permite uma maior precisão no processo, possibilitando aumento de produtividade. O sistema ar atmosférico – vapor d'água é extremamente dinâmico, levando a constantes mudanças no controle do ar, fazendo com que o processo atual seja instável e dependente das condições climáticas.

## **4.2 Preparação do ar de secagem do sistema atual**

A preparação do ar de secagem no sistema atual parte do princípio de refrigeração, onde o ar é forçado a passar por um trocador de calor (frio) para forçar a condensação do vapor d'água contido no ar, reduzindo o teor de umidade absoluta do ar.

A variação da qualidade do ar de secagem do processo ocorre em virtude da condição de condensação que o trocador de calor disponibiliza para o sistema e depende das condições do ar que passa por ele sofrendo interferência direta da temperatura e umidade do ar empregado. Por mais que o ar de secagem trabalhe

em um ciclo fechado, ou seja, o ar que seca o produto retorna por dutos (mais úmido) passa por um filtro e pelo trocador de calor (condensando vapor d'água) e volta (mais seco) para secar o produto novamente. Mas durante o ciclo ele sofre algumas interferências por conta de o equipamento não ser totalmente hermético, com isso algumas renovações de ar acontecem prejudicando o controle do processo.

O sistema de preparação de ar trabalha com trocadores de calor do tipo aletado, com expansão direta. Isso significa que fluido refrigerante (R-22) passa dentro dos tubos do trocador, fazendo com que o tubo atinja na sua parte externa uma temperatura capaz de forçar a condensação da umidade do ar que passa por ele (ponto de orvalho). Após a condensação de parte do vapor d'água do ar, este é succionado por um turbo ventilador e direcionado para o processo.

Para análise de eficiência do processo foi utilizada a Equação 1 abaixo descrita:

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{ar} * (w_2 - w_1) \quad (1)$$

Onde:

$\dot{m}_a$  - vazão mássica de água (kg/h)

$\dot{m}_{ar}$  - vazão mássica de ar (kg/h)

$w_2$  - umidade absoluta do ar de exaustão da drageadeira (kg/kg)

$w_1$  - umidade absoluta do ar de secagem (kg/kg)

Através da Equação 1 é possível obter a taxa de remoção de água do sistema (DOSSAT, 2004). Para obter as variáveis necessárias para aplicar na equação é preciso ter pelo menos duas informações que caracterizem as condições do ar. Através da utilização do diagrama psicrométrico, podem-se encontrar tais variáveis necessárias. No caso do presente trabalho foram coletadas junto ao processo temperatura de bulbo seco (TBS -°C) e umidade relativa (%) do ar.



### 4.3 Roda dessecante

Diferente do sistema atual de preparação do ar de secagem, o sistema com roda dessecante além de utilizar princípios de refrigeração para forçar a condensação do vapor d'água contido no ar, ele utiliza uma roda de sílica com função adsorvente que gira lentamente (aproximadamente oito rotações por hora) para remover o vapor d'água do ar.

Para garantir a integridade da roda o sistema deve captar sempre ar novo (externo da atmosfera), pois a utilização do ar de recirculação pode conter resquícios de particulado de açúcar do processo de drageamento. Mesmo passando esse ar por filtros, pequenas partículas podem permanecer no ar, além de se correr o risco do filtro poder furar ou rasgar. A roda se apresenta como uma espécie de colmeia, impregnada de sílica reforçada com fibra de vidro, retendo em sua superfície água na fase de vapor, caso partículas de açúcar sejam arrastadas pelo ar, estas ficarão aderidas na superfície da roda, prejudicando seu funcionamento. A estrutura corrugada da colmeia forma canais uniformes e paralelos ao eixo da roda, permitindo o escoamento laminar da corrente de ar, de modo a proporcionar a máxima retenção de água com o mínimo de perda de carga para o sistema. Outra vantagem de utilizar ar atmosférico externo é em função da temperatura. Quanto mais baixa for a temperatura do ar de entrada no equipamento dessecante melhor será sua eficiência.

O equipamento dessecante trabalha com um ventilador centrífugo succionando ar através dele. O primeiro estágio do equipamento é o pré-resfriamento que tem função de forçar a condensação do vapor d'água e baixar a temperatura do ar antes que ele passe pela roda. Esse sistema de pré-resfriamento, nada mais é que um trocador de calor com tubos e aletas onde circula água glicolada (água + álcool). Essa água glicolada é fornecida por um chiller que é necessário para compor o sistema. O ar deve entrar na roda com uma temperatura baixa, em função do aquecimento forçado da sílica no processo de regeneração. Quando a sílica adsorve o vapor d'água do processo e gira a baixa rotação, outra parte da roda está recebendo ar quente na regeneração por outra fonte, através dessa corrente de ar quente o vapor d'água contido na sílica é forçado a evaporar. Esse aquecimento da sílica pode aumentar a temperatura do ar de processo de

20°C a 30°C dependendo da quantidade de vapor d'água a ser evaporada na regeneração.

O fato de se utilizar sempre ar externo é vantajoso pela conservação da colmeia e temperatura de captação do ar. O ar de secagem que sai do ciclo de drageamento retornaria para a roda (conforme medições feitas no atual sistema) aproximadamente 30°C. Na região onde a empresa fabricante de balas está situada eventualmente a temperatura ambiente ultrapassa essa temperatura. Quanto mais alta for a temperatura de entrada do ar no equipamento dessecante maior será a energia consumida pelo sistema de frio para reduzir essa temperatura.

Como as condições do ar externo são sempre irregulares, o sistema de preparação de ar com roda dessecante tem como sua principal função retirar umidade e entregar para a secagem ar seco sempre nas mesmas condições. O ar externo que entra no equipamento, passa pelo pré-resfriamento e pela roda que retiram o vapor d'água do ar. O que controla a quantidade final de umidade absoluta resultante no ar de processo depois da passagem pela roda é a regeneração. Com a modulação da temperatura da corrente de ar utilizada para regenerar a sílica através do controle do seu ponto de saturação é possível equalizar a quantidade resultante de umidade absoluta do ar de secagem independente da temperatura que ele se encontra após passar pela roda. Depois da passagem do ar pela roda o equipamento ainda dispõe de um pós-resfriamento utilizado para reduzir a temperatura do ar e um pós-aquecimento, caso seja necessário aquecer o ar antes dele ser direcionado para a secagem.

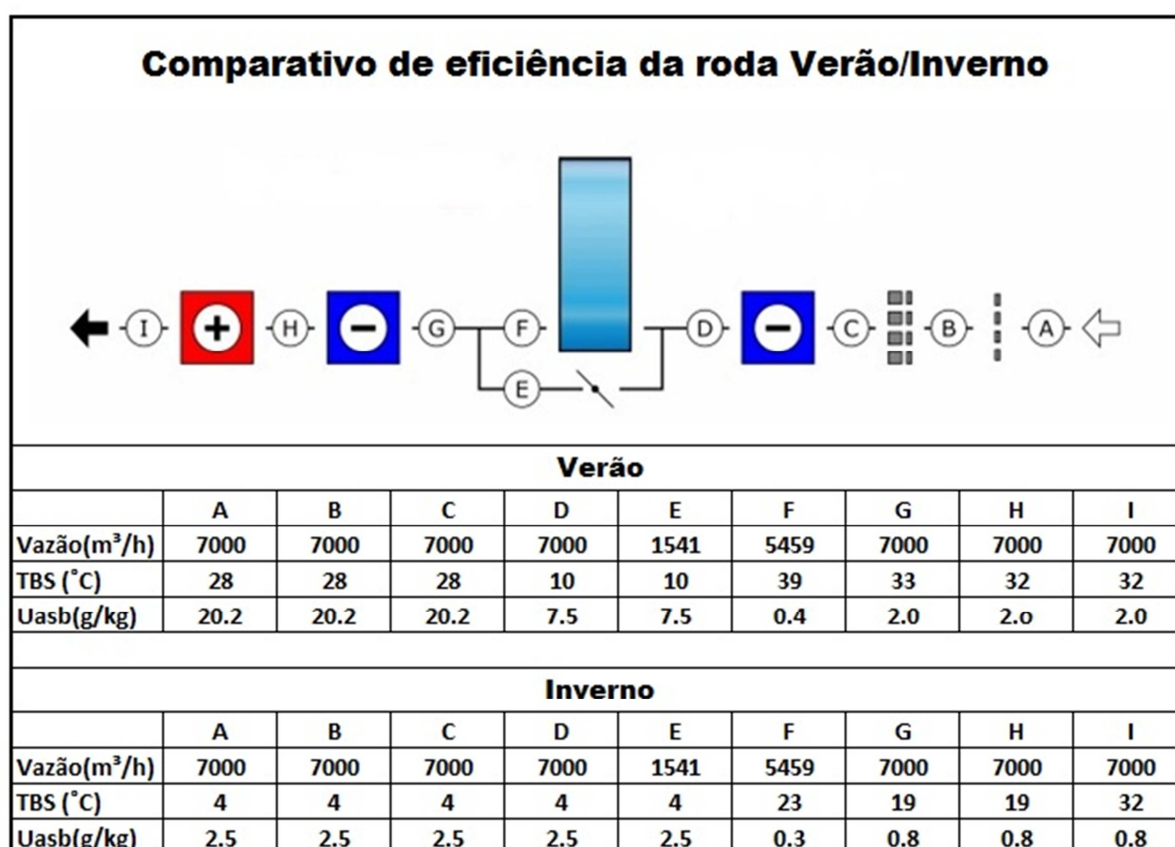
A seguir a Figura 7 mostra o comportamento do equipamento dessecante em uma situação climática de verão onde o ar atmosférico externo ao processo se encontra quente com um grau de umidade alto e uma situação de inverno onde a temperatura do ar atmosférico externo e a umidade são baixas. Na situação de verão pode se perceber que quando o ar entra no equipamento e passa pelo filtro representado entre os pontos A, B e C ele não sofre alterações na sua estrutura. Mas quando ele passa de C para D (trocador de calor frio) a uma redução de temperatura e umidade absoluta. Depois que ele passa pela roda (D para F) a temperatura aumenta e a umidade baixa mais ainda. Se a umidade baixar demais o ponto E serve de regulador, equalizando o ar bem seco com um ar mais úmido.

Observa-se que na condição de verão os trocadores de calor de pós resfriamento (G para H) e de pós aquecimento (H para I) não precisam despende de muita energia pois o ar já está quase na temperatura ideal para o processo.

Já na situação de inverno com o ar mais seco nota-se que o trocador de calor de pré-resfriamento (entre C e D) está desligado, e ar só muda quando passa pela roda (D para F) baixando sua umidade absoluta e aumentando a temperatura. Nota-se que depois de passar pela roda ele sofre nova mudança quando passa pelo trocador de pós aquecimento para atingir a temperatura necessária no processo.

Esse comparativo é importante para resaltar a versatilidade do equipamento dessecante, e como são utilizados seus recursos para estabilizar diferentes condições de ar atmosférico.

Figura 7 - Comparativo de eficiência da roda verão/inverno



Fonte: Datasheet HCD-4500cfm Munters (2015).

#### 4.4 Condição atual de secagem

Durante os meses de agosto e setembro de 2015 foram coletados dados do processo de drageamento de balas para servirem como base do estudo referente ao presente trabalho. Para análise de desempenho de secagem foi utilizada a equação da taxa de remoção de água (EQUAÇÃO 1). Os valores de umidade absoluta ( $w$ ) utilizados na Equação 1 foram obtidos com o diagrama psicrométrico através da média feita com os dados de temperatura e umidade relativa retirados do processo atual, foram utilizadas 16 amostras conforme Apêndice A.

A vazão mássica de ar foi obtida através da medição da velocidade do ar no duto de entrada da drageadeira utilizando um termo anemômetro digital MDA-11 da marca Minipa. A velocidade ( $v$ ) encontrada no duto de 0,4 metros de diâmetro ( $d$ ) foi de 16,43 m/s. A partir da Equação 2 pode-se obter a área do duto, e com a equação 03 a vazão ( $V$ ) de ar de secagem. Com a vazão calculada de 2,064m³/s e massa específica ( $\rho$ ) do ar 1,2kg/m³, foi utilizada a Equação 4 para encontrar a vazão mássica ( $\dot{m}$ ) de 2,477 kg/s (STOECKER; JABARDO, 2002).

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

$$V = v * A \quad (3)$$

$$\dot{m}_{ar} = V * \rho \quad (4)$$

A Tabela 1 mostra as médias das variáveis do processo de drageamento. A temperatura (TBS) e umidade relativa (%) foram encontradas através da leitura dos sensores do duto de entrada do ar de secagem da drageadeira de 1800L, demais valores foram anotados pelo operador durante o processo conforme Apêndice A.

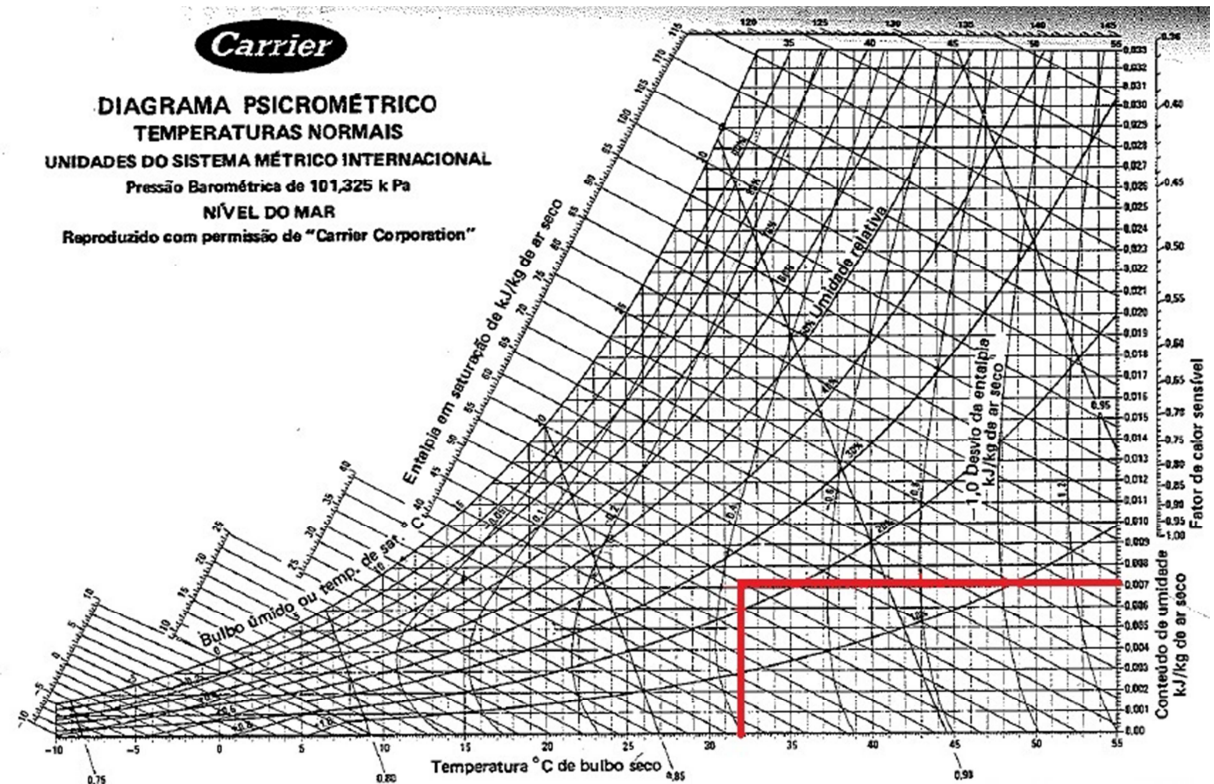
Tabela 1 - Médias do processo real

Dados	Número de ciclos	Tempo de aplicação calda (s)	Tempo de distribuição (s)	Tempo de secagem (s)	Tempo total (s)	Temperatura de secagem (°C)	Umidade relativa (%)
Médias	92	9,7	119,8	380	46823	31,9	23,9
Desvio padrão	4,7	0,4	7,8	22,4	4337	0,5	1,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Utilizando os dados da Tabela 1 de temperatura média de secagem e umidade relativa no diagrama psicrométrico da Figura 8, foi encontrada a umidade absoluta de entrada.

Figura 8 - Diagrama psicrométrico com as médias do processo real



Fonte: Dossat (2015).

A Figura 9 mostra como foram feitas as medições nos dutos de admissão e exaustão de ar da drageadeira. Esses dados foram coletados manualmente com uso de um termo higrômetro como mostra a figura, pois a drageadeira não possui sensores na exaustão.

Figura 9 - Medições com termo higrômetro



Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

As medições (TABELA 2) de temperatura (TBS) e umidade relativa (%) são o resultado das medições feitas com o termo higrômetro (FIGURA 9). Com essas informações foi possível obter as variações de umidade absoluta entre  $w_a$  e  $w_e$  do sistema.

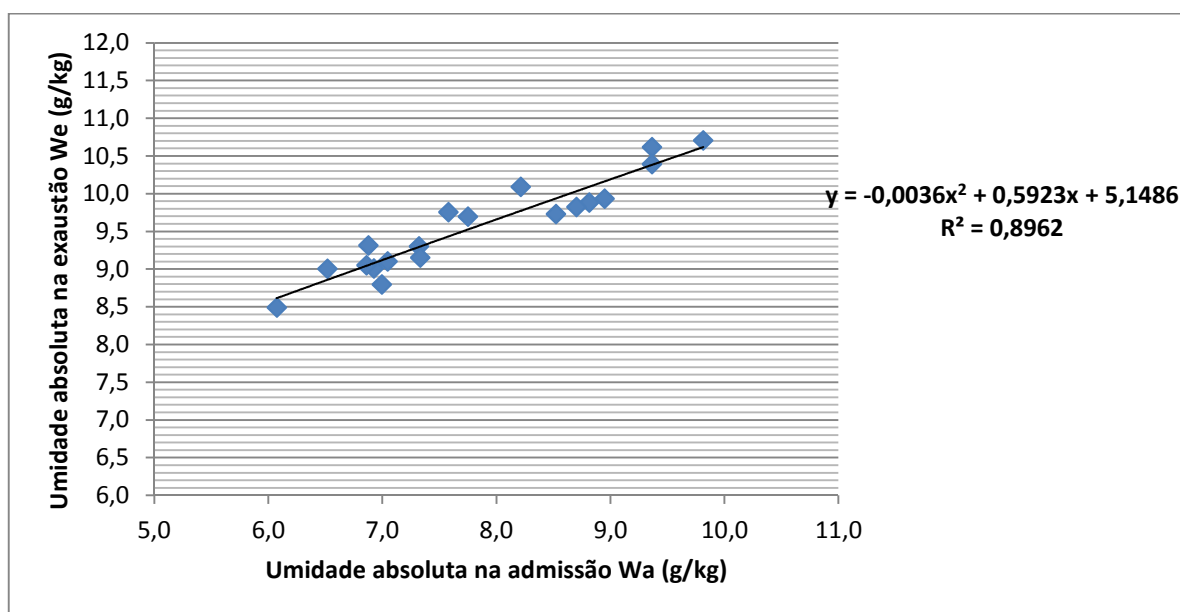
Tabela 2 - Medições com termo higrômetro

Admissão			Exaustão			Wa-We (g/kg)
Ta (°C)	Ura (%)	Wa (g/kg)	Te (°C)	Ure (%)	We (g/kg)	
33,2	24,4	7,7	26,9	43,7	9,6	1,9
32	23,2	6,8	26,9	42	9,3	2,4
32,9	22,2	6,9	27	40,4	9,0	2,0
33,2	24,4	7,3	29	37,1	9,2	1,9
32,1	20,4	6,0	27,5	37	8,4	2,4
32	22	6,5	27,6	39	9,0	2,4
33,1	24	7,5	27	43,7	9,7	2,1
34,6	27,2	9,3	29,4	41,3	10,6	1,2
34,6	27,2	9,3	29,9	39,3	10,3	1,0
35,3	27,4	9,8	32,7	34,5	10,7	0,8
34,3	25,2	8,5	30,2	36,2	9,7	1,2
34,4	26,3	8,9	29,8	37,8	9,9	0,9
34,2	26,2	8,8	29,9	37,4	9,8	1,0
34,6	25,3	8,7	30,9	35,1	9,8	1,1
34,3	24,3	8,213	30,3	37,3	10,089	1,876
33,2	23,1	7,332	28,5	37,6	9,153	1,821
33,9	21,2	6,994	30,4	32,4	8,796	1,802
34,2	21	7,045	30,8	32,4	9,100	2,055
33,9	20,8	6,861	31	32,2	9,050	2,189

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

A partir dos dados da Tabela 2 foi construído um gráfico de dispersão utilizando no Excel e traçado sobre ele uma linha de tendência para análise da regressão do gráfico. A linha de tendência gerada pelo software é representada por uma equação de segunda ordem, com ela foi possível projetar a umidade absoluta de saída ( $w_2$ ) do sistema para os valores médios encontrados no processo (TABELA 1).

Gráfico 1 - Regressão linear da umidade absoluta do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Utilizando as médias do processo da Tabela 1 na Equação 1, onde o TBS de 31,96°C e UR 23,94% representam uma umidade absoluta ( $w_a$ ) de 7g/kg e a vazão mássica do ar ( $\dot{m}_{ar}$ ) é 2,477kg/s. Para encontrar a umidade absoluta de exaustão ( $w_e$ ) é necessário utilizar a equação da reta de regressão. De acordo com Holffmann e Vieira (1987), variáveis podem ser relacionadas por meio de expressões matemáticas para estimar um valor desconhecido, desde que se conheçam outros valores relacionados ao caso (estes de mais fácil obtenção ou antecessores). Considerando duas variáveis geralmente X e Y, e atribuindo valores a elas em um gráfico, verificamos que elas pertencem a uma curva que representa um modelo matemático. O valor de  $R^2$  ou coeficiente de determinação mede a proporção da variação total de Y pela variação em X. A interpretação do valor de  $R^2$  remete a confiabilidade dos resultados que no caso do presente trabalho é de 89,6% (NEUFELD, 2003).

$$w_e = -0,0036w_a^2 + 0,5923w_a + 5,1486 \quad (5)$$

Aplicando  $w_a$  igual a 7,0g/kg na Equação 5 temos um  $w_e$  de 9,1g/kg. E aplicando esses valores na Equação 1 com as unidades de umidade absoluta em kg/kg temos:

$$\begin{aligned} \dot{m}_a &= \dot{m}_{ar} * (w_e - w_a) \\ \dot{m}_a &= 2,477 * (0,0091 - 0,007) \\ \dot{m}_a &= 0,0052 \text{ kg/s} \end{aligned} \quad (1)$$

Considerando o valor acima aplicado em um ciclo de drageamento, onde a média do tempo de secagem do processo atual é de 380 segundos, podemos considerar que esse tempo médio ( $tm$ ) vezes a vazão mássica de água do ciclo é igual à quantidade de massa de água removida.

$$\begin{aligned} \text{massa de água removida por ciclo} &= \dot{m}_a * tm \\ \text{massa de água removida por ciclo} &= 0,0052 * 380 \\ \text{massa de água removida por ciclo} &= 1,97 \text{ kg} \end{aligned} \quad (6)$$

Comparando a quantidade de massa de água que entra no sistema com a aplicação da calda e o valor calculado da taxa de remoção de água ( $\dot{m}_a$ ) encontrado na Equação 6, temos que: A quantidade de massa de água relevante para a análise é oriunda da aplicação de calda com massa total de 723kg e °Brix de 74%. Com isso pode-se dizer que 26% da massa de calda aplicada sobre a bala (723kg) são água, representando uma massa de 188kg. O processo de drageamento tem em média 92 ciclos conforme tabela 3, portanto temos a aplicação de 2kg de água por ciclo, valor semelhante ao encontrado na Equação 6.

#### 4.5 Simulação de secagem utilizando roda dessecante

Para a simulação de secagem utilizando a roda foi utilizada a equação da linha de tendência do gráfico de regressão. Com ela pode-se obter a projeção da umidade absoluta de saída do sistema de secagem considerando a entrada do ar de admissão com umidade absoluta de 2g/kg. Para fins de comparativo foi considerada no cálculo, a mesma vazão mássica para o ar de secagem ( $\dot{m}_{ar}$  2,477kg/s). Com



essas informações o objetivo foi encontrar o tempo necessário para remover a massa de 2kg de água por ciclo e encontrar um novo tempo total para o processo.

$$w_e = -0,0036w_a^2 + 0,5923w_a + 5,1486 \quad (5)$$

Aplicando a Equação 5 com  $w_a$  igual a 2g/kg temos que a  $w_e$  é 6,3g/kg. Utilizando esses dados na Equação 1, e considerando que a massa ( $m$ ) é igual a 2kg de água e devem ser removidas por ciclo de drageamento temos que:

$$\begin{aligned} \dot{m}_a &= \dot{m}_{ar} * (w_e - w_a) \\ \frac{m}{t} &= \dot{m}_{ar} * (w_e - w_a) \\ \frac{2}{t} &= 2,477 * (0,0063 - 0,002) \\ t &= 188s \end{aligned}$$

Com os dados da roda dessecante pode-se estimar um tempo de secagem de 188 segundos por ciclo. Considerando o mesmo número de ciclos de drageamento por batelada e que os tempos de aplicação de calda e distribuição serão os mesmos. A Tabela 3 mostra uma redução de quase 5 horas no processo de dragemaneto comparando a roda com o sistema atual.

Tabela 3 - Comparativo de tempo médio entre os processos

	Total de camadas	Tempo de secagem (s)	Tempo de aplicação de calda (s)	Tempo de distribuição (s)	Tempo total(s)	Tempo total (h)
Sistema atual	92	380	9,7	119,8	46874	13,02
Roda dessecante	92	188	9,7	119,8	29210	8,11

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

#### 4.6 Comparativo de eficiência energética

O comparativo de eficiência energética baseia-se no consumo de recursos utilizados para preparação do ar de secagem nos dois sistemas. Ambos os sistemas de preparação de ar utilizam geradores de frio e trocadores de calor, utilizam vapor sob pressão para aquecimento também com trocadores de calor e ventiladores centrífugos para movimentação do ar. Para o sistema de frio a roda utiliza água

glicolada refrigerada em um chiller e o sistema atual usa dois compressores alternativos com gás refrigerante R-22. A potência necessária para os trocadores de calor e ventiladores do equipamento dessecante somam 242,86kw (167kw refrigeração + 6,87kw ventiladores + 68,99kw aquecimento com vapor). Enquanto o sistema atual 211kw refrigeração + 5,5kw ventilador, a potência de aquecimento com vapor não foi obtida. Mas para um simples comparativo podemos assumir que ambos os sistemas tenham mesmo gasto energético, entretanto o sistema que utiliza a roda dessecante tem uma redução de aproximadamente 5 horas no processo, ou seja, são 5 horas de economia de energia.

#### 4.7 Redução de tempo de processo x aumento de produtividade

Com dados da Tabela 5 pôde-se projetar o aumento de produtividade considerando a redução do tempo de processo. Para mensurar o aumento de produção foi utilizado como base o tempo de um ano de produção, com 12 meses, cada mês com 20 dias e 24 horas de trabalho por dia resultando um total de 5760 horas por ano. Foi considerado 2 horas de setup entre as bateladas, e que cada batelada final de produção tem 1873kg. A Tabela 4 mostra o comparativo de produção do sistema atual com o sistema proposto pelo estudo utilizando o equipamento dessecante. O Comparativo mostra um aumento de 340.449kg de produto por ano (incremento de 32% na produtividade) considerando uma drageadeira de 1800 litros.

Tabela 4 - Aumento de produtividade

	Tempo de processo (h)	Setup (h)	Processo + Setup(h)	Produção anual (h)	Nº de bateladas/ano	kg/batelada	kg/batelada x nº bateladas
Sistema atual	13,01	2	15,02	5.760	383	1.873	717.796
Roda dessecante	8,11	2	10,11	5.760	569	1.873	1.065.737

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Com o aumento de produção estimado em 347.941kg utilizando o mesmo tempo/ano de processo podemos estimar uma redução no custo do produto, pois o equipamento utilizado para produção é o mesmo. O setor de custos da empresa

fabricante de balas tem seus custos todos rateados por processo e informou que o processo de drageamento representa 23,1% do custo total do kg da bala. O kg de bala pronto custa R\$ 15,15, logo o processo de drageamento tem um custo de R\$ 3,50/kg. Se considerarmos que para fazer 717.796kg de bala vezes R\$ 3,50 custam R\$ 2.512.286,00 por ano. E com o equipamento dessecante incluso no processo vamos ter o mesmo valor dividido pela nova produção 1.065.737kg, isso resultará em um custo de R\$ 2,35/kg.

#### 4.8 Payback do investimento

Com a implantação do sistema de roda dessecante foi obtido à economia de R\$ 1,15 por kg de bala, representando aproximadamente 32% de redução de custo. Para o calculo de *payback* o equipamento de roda dessecante foi orçado em R\$ 210.000,00 no mês de setembro de 2015. Utilizando a Equação 7, onde custo do equipamento é dividido pelo custo da economia por kg, pode-se obter a quantidade de quilos de bala necessária para cobrir o investimento. Aplicando a equação de *payback*, temos que é necessário produzir 182.608kg de bala para ter o retorno do investimento.

$$\textbf{Payback} = \frac{\text{Custo do equipamento}}{\text{Economia por kg}} \quad (7)$$

Para calcular o tempo do retorno do investimento é necessário utilizar a Equação 8 que divide a quantidade necessária para o retorno do investimento pela quantidade de balas produzida em um ano que é 1.065.737kg.

$$\textbf{Payback tempo} = \frac{\text{kg de bala para payback}}{\text{Produção anual}} \quad (8)$$

Com isso, temos que o retorno do investimento é de 0,17ano ou 2,04 meses. Um *payback* rápido indica que a implantação do equipamento dessecante é extremamente vantajoso para empresa, visto que passado o retorno do investimento o período seguinte será de ótimos resultados ara a empresa, obtendo com isso maior margem de lucro tornando-se mais competitiva e sólida.

## 5 CONCLUSÃO

Através deste estudo pode-se afirmar que a melhoria contínua é de vital importância para o desenvolvimento das organizações. Oportunidades de melhorias surgem todos os dias nos mais diversos ambientes de trabalho, é preciso que as empresas identifiquem essas oportunidades e melhorem seus processos, a fim de reduzir o custo de seus produtos.

O presente trabalho mostrou o comparativo entre o atual sistema de preparação do ar de secagem, e o estudo de implantação do equipamento de roda dessecante no processo de drageamento. A análise comparativa evidenciou que a implantação da roda dessecante provoca melhoria significativa no processo de drageamento, possibilitando um rendimento superior para o setor da empresa.

Para composição do estudo foi necessário o acompanhamento de diversos ciclos de drageamento, através disso foi possível evidenciar detalhes do processo, os quais foram de extrema importância para execução do trabalho. Entende-se que as variações das condições do ar atmosférico externo influenciam no tratamento do ar de secagem do sistema atual visto seu princípio de funcionamento.

Com base nas medições feitas no atual sistema foi possível simular a eficiência de secagem do equipamento de roda dessecante. Com o ar de secagem entrando na drageadeira com 2g de água por kg de ar seco, a simulação mostrou que o tempo de secagem foi reduzido em aproximadamente 50%. Com essa redução de tempo no processo projeta-se um incremento de produtividade de 32% considerando a implantação de um equipamento dessecante em uma drageadeira.

Assim sendo, a análise de payback mostrou que o retorno do investimento é de 2,04 meses, concluindo que o estudo tem alta aplicabilidade. Contudo pode-se afirmar que os estudos dos fenômenos de troca fundamentados por parâmetros psicrométricos são de grande importância no desempenho da secagem, reduzindo tempo e custo de processo e aumentando eficiência energética e produtividade.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM - ABRE. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/noticias/fabricantes-de-balas-e-chocolates-registram-estabilidade-em-2013/>>. Acesso em: 04 maio 2015.

ATTKAN, A. K.; KUMAR, N.; YADAV, Y. K.. Performance evaluation of a dehumidifier assisted low temperature based food drying system. **IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology** (IOSR-JESTFT), 43-49. 2014.

BLACKADDER, D.; NEDDERMAN, R. **Manual de operações unitárias**. Tradução de L. R. Vidal. London: Ed. Hemus. 2004.

BRONDANI, G.; MENEGHINI, L. A. **O planejamento estratégico nas organizações**. Ouro Preto, MG, Brasil. 21 out. 2003.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

COSTA JUNIOR, E. **Gestão de processos produtivos**. Curitiba: InterSaberes. 2012. E-book. Disponível em: <<http://univates.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788582122426/pages/-2>>. Acesso em: 10 maio 2015.

COSTA, Ê. C. **Secagem industrial**. São Paulo: Blücher. 2007.

\_\_\_\_\_. **Refrigeração**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher. 1982.

DOSSAT, R. J. **Princípios de refrigeração: teoria, prática, exemplos, problemas, soluções**. São Paulo: Hemus. 2004.

F. GIAMETTA, E. S. Experimental study on optimizing cheese drying and ripening process. **Int J Agric & Biol Eng.**, p. 74-82. 2012.

GE, T. et al. A review of the mathematical models for predicting rotary desiccant wheel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 1486-1525, 22 jan. 2007.

HOLFFMAN, R.; VIEIRA S. **Análise de regressão: uma introdução à econometria**. São Paulo: Hucitec. 1987.

INCROPERA, F. P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LEAL, G. S. **Arrefecimento dessecante em Portugal Continental**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Porto, Portugal. jul. 2009.

MADHIYANON, Thanid et al. **Integration of a rotary desiccant wheel into a hot-air drying system: Drying performance and product quality studies**. Bangkok Thailand, Thailand. 2006.

MANDEGARI, M. A.; PAHLAVANZADEH H. P. **Introduction of a new definition for effectiveness of desiccant wheels**. Irã. 2009.

METEOBADALONA (05 DE 05 DE 2007)  
<<http://www.meteobadalona.com/index.php/pg.44.484.html>> .Acesso em 03 dez. 2015.

NEUFELD, J. L. **Estatística aplicada à administração usando Excel**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

PARK, k. J. et al. **Conceito de processo e equipamentos de secagem**. Campinas, SP, Brasil. mar. 2007.

PORTAL DO VALE DO TAQUARI. (11 de 12 de 2013). CIC-VT – Câmara da Indústria, Comércio e Serviços do Vale do Taquari: Disponível em:  
<<http://www.cicvaledotaquari.com.br/portal/index.php/setores-de-balas-chocolates-e-bebidas-tem-perspectiva-de-crescimento-de-mais-de-10/>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

RODA dessecante. Disponível em: <<https://www.munters.com/pt/solutions/energy-recovery/>>. Acesso em: 10 out. 2015.

ROESCH, S. M. Projetos de estágio e de pesquisa em Administração: **Guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. 3. ed. São Paulo: Atlas. 2013.

SANTOS, M. A. **Análise técnica e econômica para utilização de insumos alternativos em um sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo aplicado ao condicionamento de ar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Taubaté, SP. 2005.

SILVA, J. D.; SILVA, A. C. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.

STEFANO, de Antonellis, C. M. **Simulation, performance analysis and optimization of desiccant wheels**. Milan, Italia. 2010.

STOECKER, W.; JABARDO, J. **Refrigeração industrial**. São Paulo: Blucher, 2002.

ZHANG, L.; NIU, J. Performance comparisons of desiccant wheels for air dehumidification and enthalpy recovery. **Applied Thermal Engineering**, p. 1347-1367. 2002.



## **APÊNDICES**

### APÊNDICES A - Planilha de acompanhamento de drageamento de balas

Dados Produção				10 CAMADAS				20 CAMADAS					
Sabor	Data	total camadas BRIX da calda	Inicial	dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem	dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem
Laranja	21/08/15	97	74	8,4	140	320	32,9	23	9	120	360	32,5	23
Hortelã	25/08/15	92	74	8	180	280	33,1	26	8,8	120	380	32,6	22
Tutti Frutti	27/08/15	93	74	9	180	300	33,8	22	10	180	370	32,8	29
Morango	28/08/15	98	74	9	180	280	32,9	23	9,4	180	340	32,8	24
Hortelã	01/09/15	91	74	8,3	180	300	32,6	25	8,6	120	360	30	28
Laranja	03/09/15	95	74	8	180	280	32,5	22	9,5	180	380	32,2	22
Cereja	08/09/15	97	74	8,5	180	280	32,4	18	9,3	140	340	31,4	22
Tutti Frutti	08/09/15	95	74	8	180	300	33	25	8,8	120	360	31,1	26
Maracujá	14/09/15	80	74	8,5	180	280	31,7	19	9,5	120	350	32,8	18
Uva	15/09/15	92	74	8	180	280	32,2	22	9,5	120	350	31,1	24
Maracujá	16/09/15	90	74	8	180	280	30,2	23	8,9	120	360	30,2	28
Laranja	17/09/15	86	74	8,2	180	280	31,2	24	8,5	130	360	32,1	22
Laranja	21/09/15	85	74	8,4	180	280	32,5	26	8,6	180	320	32,8	26
Hortelã	22/09/15	89	74	8,3	180	280	31,9	25	8,5	140	340	32,1	23
Menta	24/09/15	94	74	8	180	280	32,2	24	8,3	140	340	32,6	25
Morango	25/09/15	95	74	8,3	180	280	32,5	21	8,5	140	360	31	23

30 CAMADAS					40 CAMADAS					50 CAMADAS				
dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem	dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem	dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem
10,2	160	380	32	24	9,8	120	400	32,2	24	10,4	120	400	31,5	24
9	90	380	32,6	27	9,5	90	380	32,1	27	9,5	90	400	30,8	24
10,2	140	400	30,5	24	10,5	120	450	31,6	23	10,4	90	450	32,2	26
9,8	120	400	31,9	23	10	90	400	31,4	26	10	90	400	31,4	26
9,8	90	400	32	25	10,2	90	400	32,1	26	10,5	120	380	32	27
10	140	400	31	23	10,4	120	400	32,3	20	10,3	120	400	32	22
10	120	400	32	22	9,6	120	420	32,6	22	9,6	90	420	31,9	22
9,5	90	380	32,5	24	10,5	90	380	31,9	26	10,8	120	380	31	28
9,8	90	360	32,1	19	10,2	120	380	31,4	18	11	90	340	31,9	20
10	100	360	33,2	22	10,5	90	380	31,7	24	10,8	90	400	31,6	24
9	90	370	27,3	22	9,5	90	370	28,9	22	9,5	90	370	33,9	20
9,3	120	370	32,3	22	9,6	90	380	29,4	26	10,2	90	400	29,6	24
9,4	140	370	32,6	26	10,2	90	380	31,9	27	10	90	420	33,7	27
9	120	370	32,1	28	9,5	90	380	31,6	29	10	90	370	31,7	23
8,7	120	360	31,7	25	9,6	90	420	31	26	9,4	90	430	31,1	27
8,7	120	370	31,4	23	9,3	90	440	33,1	12	9,6	90	430	31,4	23

60 CAMADAS					70 CAMADAS					80 CAMADAS				
dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem	dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem	dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem
10,4	120	400	32,9	25	10,4	120	400	30,9	26	10,1	120	500	35,4	21
9,8	90	400	30,7	26	10,2	120	400	31,8	29	10	120	400	33,1	22
10,6	90	480	31,1	22	10,7	120	500	32,8	28	10,6	120	500	32,7	27
10	140	400	32,7	24	10	140	360	32,9	25	10,4	120	380	32,9	28
10,4	120	420	32,9	26	10	120	420	32,7	26	10	120	420	31,8	27
10	120	420	31,4	21	10,2	120	420	32,9	21	10,3	120	380	32	25
9,6	90	420	32,4	22	9,5	90	420	32,4	27	9,5	120	450	32,4	25
10,6	120	400	31,2	28	10,6	120	360	32,1	26	10,4	130	360	32	20
11,2	90	340	31,7	21	11,4	120	340	32,3	19	11,4	90	300	32,2	19
10,6	120	460	31,9	25	10,4	120	380	32	24	10,4	120	360	32,1	24
10	90	370	28,8	25	10,5	90	370	31,1	22	11	120	360	32,4	21
10,5	90	400	29,8	26	10,5	90	370	32	22	10,3	90	380	30	15
10,2	90	420	32,9	26	10,3	100	400	32,6	27	10,3	120	400	33	26
10,2	90	370	31,9	26	10	120	380	33,2	26	10	120	400	32,4	26
10	90	420	31,8	25	10,2	90	420	32,5	24	10,5	90	380	31,3	27
9,6	90	430	31,7	21	9,3	90	430	33	28	10,5	90	400	30,7	22

90 CAMADAS				
dosagem calda (s)	Tempo distribuição	Tempo de secagem	T ar secagem	U ar de secagem
9,8	120	500	36,1	22
9,8	120	400	32,8	29
10,8	120	450	31,4	27
10,4	120	400	32,5	24
10,5	140	380	31	23
9,5	120	450	31,8	27
10,4	130	360	32,1	22
10,6	120	340	32,1	24
11,5	120	360	32,5	21
10,2	120	360	30,3	25
10,3	120	420	32,1	27
10	120	420	32,3	26
10,2	120	370	32,5	23
10,8	120	380	32,2	21

### APÊNDICES B - Valores médios do processo de drageamento

Sabor	Data	Total camadas	Tempo total(s)	Tempo total (h)	Tempo médio de secagem	Tempo médio de aplicação de calda	Tempo médio de distribuição	Temperatura média do ar de secagem (°C)	Umidade Relativa média de secagem (%)
Laranja	21/08/15	97	53293,60	14,80	413,40	9,83	126,67	32,93	23,56
Hortelã	25/08/15	92	46305,60	12,86	380,43	9,40	113,33	32,18	25,78
Tutti frutti	27/08/15	93	53270,40	14,80	433,87	10,31	128,89	32,10	25,33
Morango	28/08/15	98	50533,20	14,04	375,51	9,89	131,11	32,38	24,78
Hortelã	01/09/15	91	47428,00	13,17	391,43	8,64	120,00	32,01	26,25
Laranja	03/09/15	95	50544,50	14,04	384,21	9,91	137,78	31,92	22,11
Cereja	08/09/15	97	51607,50	14,34	403,61	9,46	118,89	32,14	23,00
Tutti frutti	08/09/15	95	47198,00	13,11	364,21	9,96	122,22	31,88	25,00
Maracujá	14/09/15	80	36730,00	10,20	336,25	10,38	112,50	32,01	19,13
Uva	15/09/15	92	45549,20	12,65	367,17	10,09	117,78	31,99	23,67
Maracujá	16/09/15	90	42879,00	11,91	356,67	9,77	110,00	30,59	22,67
Laranja	17/09/15	86	41912,20	11,64	366,98	9,70	111,11	30,74	22,89
Laranja	21/09/15	85	43325,50	12,03	376,47	9,74	123,33	32,68	26,44
Hortelã	22/09/15	89	44105,00	12,25	367,19	9,50	118,89	32,13	25,78
Menta	24/09/15	94	47149,80	13,10	379,57	9,43	112,22	31,86	25,11
Morango	25/09/15	95	48700,00	13,53	390,53	9,40	112,22	31,89	21,56
<b>Médias das variáveis do processo</b>		92	46823,56	13,01	380,47	9,71	119,81	31,96	23,94
Desvio padrão		4,75	4337,44	1,20	22,46	0,40	7,85	0,57	1,93

Sabor	Data Drageamento	total camadas	Tempo total(s)	Tempo total (h)	Tempo médio de secagem	Aplicação média de calda (kg)	Tempo médio de aplicação de calda	Tempo médio de distribuição	Temperatura média do ar de secagem (°C)	Umidade Relativa média de secagem (%)
Hortelã	21/08/15	84,00	37892,20	10,53	324,76	1,06	6,90	117,14	32,47	13,43
Laranja	21/08/15	97,00	53293,60	14,80	413,40	1,36	9,83	126,67	32,93	14,56
Hortelã	25/08/15	92,00	46305,60	12,86	380,43	1,32	9,40	113,33	32,18	16,78
Tutti frutti	27/08/15	93,00	53270,40	14,80	433,87	1,40	10,31	128,89	32,10	16,11
Morango	28/08/15	98,00	50533,20	14,04	375,51	1,44	9,89	131,11	32,38	15,78
Hortelã	01/09/15	91,00	47428,00	13,17	391,43	1,45	8,64	120,00	32,01	17,25
Laranja	03/09/15	95,00	50544,50	14,04	384,21	1,46	9,91	137,78	31,92	13,11
Cereja	08/09/15	97,00	51607,50	14,34	371,13	1,40	9,46	118,89	32,14	14,00
Tutti frutti	08/09/15	95,00	47198,00	13,11	364,21	1,45	9,96	122,22	31,88	16,22
Maracujá	14/09/15	80,00	36730,00	10,20	336,25	1,54	10,38	112,50	32,01	10,38
Uva	15/09/15	92,00	45549,20	12,65	367,17	1,46	10,09	117,78	31,99	14,44
Maracujá	16/09/15	90,00	42879,00	11,91	356,67	1,44	9,77	110,00	30,59	13,67
<b>Médias das variáveis do processo</b>		92,00	47480,30	13,19	374,92	1,40	9,54	122,85	32,20	14,76